

Indice

1. Introduzione

Semplice e complesso in fisica	1
Il ruolo della matematica	1
Teoria ed esperienza	2
Ancora su semplice e complesso	3
Fisica classica e fisica “moderna”	4
L’interazione fra scienza e tecnica	5
I capitoli della fisica	5
Le grandi unificazioni	6

2. Metrologia del tempo

Gli inizi	1
Che cos’è un orologio “giusto”?	2
Gli sviluppi più recenti	3
Perché si cambiano i campioni?	4

2a. Fisica del tempo

Il tempo assoluto	1
La matematizzazione del tempo	2
Il tempo nella fisica moderna	2
Due esperimenti moderni	3

3. Fisica e metrologia dello spazio

L’evoluzione dei campioni di lunghezza	1
Motivazioni fisiche delle varie definizioni	2
La scala astronomica	2
Le distanze a scala atomica	4
La scala nucleare e subnucleare	5
Significato operativo delle misure di lunghezza	6
La validità della geometria euclidea	7

4. Cenno storico sullo sviluppo della meccanica

Galileo	1
Newton	1
La crisi di fine ’800	2
Riflessione epistemologica	2

5. I principi della dinamica

Le leggi di Newton	1
I pericoli del 3° principio	2
Lo spazio assoluto	3
La definizione di massa	4
La definizione di forza e il ruolo del 2° principio	5
Il 3° principio e l'azione a distanza	5
Come si misura la massa	6
A che punto siamo?	7
Riassumendo	7

6. Il principio di relatività

Il principio di relatività nella fisica newtoniana	2
Il principio di relatività e la velocità della luce	3
Invarianza della velocità della luce e “composizione” delle velocità	3
Prove dell'invarianza della velocità della luce	4
Concludendo	5

7. Riferimenti, spazio, vettori

Riferimenti	1
Spazio euclideo	1
Vettori nello spazio euclideo	1
Dimensioni e basi	2
Distanza e prodotto scalare	4
I vettori in fisica	6

8. Tempo e moto

Il punto materiale	1
Traiettoria e curva oraria	1
Ascissa curvilinea e legge oraria	2
Velocità media e istantanea	3
L'accelerazione	4
Esempi	6

9. Sistemi di coordinate

Definizione di coordinate	1
Coordinate cartesiane	2
Destra e sinistra	2
Coordinate polari nel piano	3
Coordinate cilindriche	4
Coordinate polari nello spazio	4

Coordinate associate	5
Linee coordinate, base ortonormale associata	6
Applicazione: velocità e accelerazione in coordinate polari	7

10. Approssimazioni e calcolo differenziale

Infinitesimi	1
Approssimazione di una funzione	1
Approssimazione con costanti	2
Approssimazione con funzioni lineari	2
Primi risultati sulle derivate	4
Approssimazione con funzioni quadratiche	6
Continuando	6
Funzioni di più variabili	7
Approssimazione con funzioni lineari	8
I differenziali dei fisici e quelli dei matematici	9
Uso “disinvolto” dei differenziali	10

11. Funzioni trascendenti elementari

L'esponenziale vista da un matematico	1
Il logaritmo	2
L'esponenziale vista da un fisico	2
Il moto in un mezzo viscoso	4
Le funzioni circolari	6

12. Un'applicazione: il moto su spirale logaritmica

Le equazioni	1
La velocità	2
L'accelerazione	3
Tempo e giri	3

13. Il prodotto vettore

Definizione di prodotto vettore	1
Proprietà del prodotto vettore	2
Destra e sinistra	3

14. I corpi rigidi: cinematica

Corpi rigidi e relatività	1
Gradi di libertà di un corpo rigido	2
Il campo delle velocità di un corpo rigido	3
Moti traslatori	3
Moti rotatori	4
Moti rigidi piani	6
Moti rigidi in generale	7

15. Il moto con punto fisso “alio modo”

Il campo delle velocità come omomorfismo	1
L'asse di rotazione come nucleo di Ω	2
La velocità angolare	3
Il prodotto vettore come omomorfismo antisimmetrico	3

15a. Vincoli, attrito e resistenza del mezzo

Vincoli e reazioni vincolari	1
Vincoli lisci	2
Un esempio: il piano inclinato	3
L'attrito	4
La resistenza del mezzo	5
Dipendenza dalla velocità	5
Distribuzione delle forze di contatto	6

16. Cambiamenti di riferimento

Moto traslatorio	1
Moto rotatorio	3
Interpretazione geometrica	4
Relazione fra le derivate di un vettore rispetto a K e rispetto a K'	5
Calcolo dell'accelerazione	5
Caso generale	6
Il principio di relatività	7
Dinamica nei riferimenti non inerziali	7
Nota finale	10

17. Forze apparenti nel “laboratorio Terra”

Il riferimento “Terra”	1
La forza centrifuga	2
La forza di Coriolis	3
La forza di Coriolis nell'atmosfera	4
Le maree	6

17a. Il principio di equivalenza

Proprietà della gravitazione	1
Il principio di equivalenza	2
Principio di equivalenza “forte” e “debole”	3
Carattere locale del principio di equivalenza	4
Principio di equivalenza e forze di marea	5
Il principio di equivalenza da un altro punto di vista	6
Un esercizio	6
La deflessione gravitazionale della luce	7
Riflettiamo	8

18. Grandezze fisiche, unità di misura, sistemi di unità

Grandezze omogenee e unità di misura	1
Le costanti universali	2
Il Sistema Internazionale di unità	3

19. Dimensioni

Equazioni, funzioni e controlli dimensionali	1
Il problema degli angoli	3
La deduzione “dimensionale” delle leggi fisiche	4

20. Secondo principio, equazioni differenziali

Il determinismo meccanico	1
$\vec{F} = ma$ come equazione differenziale	3
Integrale generale, condizioni iniziali	4
Il piano delle fasi	7
Esempi	8
Costanti del moto	9
Estensioni	10

20a. Numeri complessi, ecc.

Cenno storico	1
Definizioni	2
Piano complesso, rappresentazione polare	3
Radici n -me di un numero complesso	4
Il teorema fondamentale dell'algebra	4
Funzioni a valori complessi	4

21. L'oscillatore armonico

Equilibrio e piccole oscillazioni	1
Determinazione delle soluzioni	2
Esame qualitativo	3
Integrale generale e condizioni iniziali	4
Uso dei numeri complessi	5
“Significato fisico” dei numeri complessi	6

22. L'energia

Esistenza della costante del moto	1
Energia cinetica e potenziale	2
Ruolo della costante arbitraria	2
Conservazione dell'energia e reversibilità	3
Traiettorie chiuse	4
L'energia attribuito dei sistemi fisici	5

23. Un'applicazione: la molecola di azoto

Andamento dell'energia potenziale	1
La frequenza di vibrazione	2
Formazione della molecola	3
Effetti quantistici	4

23a. Il pendolo

Il pendolo semplice	1
L'approssimazione delle piccole oscillazioni	2
Diagrammi di fase	3

24. L'oscillatore armonico smorzato

Definizioni	1
L'energia nei sistemi dissipativi	2
Ricerca dell'integrale generale	3
Interpretazione del risultato	5
Smorzamento critico e oltre	6
Soluzioni complesse	6
Discussione	7
Riflessione finale	9

24a. Simmetrie e invarianze

Simmetria e invarianza	1
Invarianze dell'oscillatore armonico	2
L'inversione del tempo	2
L'invarianza per traslazioni spaziali	3

25. Oscillazioni forzate e risonanza

L'equazione differenziale	1
Il principio di sovrapposizione	2
Il regime stazionario	3
Bilancio dell'energia	5
Esempi di risonanze	6

25a. Oscillazioni forzate e spazio delle fasi

L'integrale generale	1
Le sezioni di Poincaré	1
Studio delle traiettorie	2

26. L'oscillatore armonico bidimensionale isotropo

Equazioni del moto, integrale generale, traiettoria	1
Le costanti del moto	2
Forza ed energia potenziale	4

27. L'oscillatore armonico bidimensionale anisotropo

L'approssimazione delle piccole oscillazioni	1
Equazione del moto e integrale generale	2
Il caso irrazionale	3
Le costanti del moto	3

28. L'oscillatore armonico in tre dimensioni

L'oscillatore isotropo	1
Moto piano	1
Un argomento di simmetria	2
L'oscillatore anisotropo	2

29. Riepilogo su energia e momento angolare

L'energia	1
Il momento angolare	2

30. Integrazione numerica

Posizione del problema	1
Il metodo di Eulero	1
Un esempio	2
Il metodo delle differenze centrali	3
Di nuovo lo stesso esempio	4
Problemi di stabilità	4

30a. Oscillatori armonici accoppiati

Il sistema fisico	1
Masse uguali, molle uguali	1
Integrale generale e soluzioni particolari	3
Una soluzione particolarmente interessante	4
Le costanti del moto	5
Masse uguali, molle diverse	6
Riassumendo e generalizzando	7

30b. Il comportamento caotico

Stabilità di un sistema di equazioni differenziali	1
Instabilità e tempo di Liapunov	1
“Zoologia” dei sistemi caotici	2
Due esempi a confronto	4
Studio dell'esempio 1	5
Studio dell'esempio 2	5

31. Il moto kepleriano

L'approssimazione del centro di forza fisso	1
Le costanti del moto: energia e momento angolare	2
Il vettore di Lenz	2
La traiettoria	3
La legge oraria	4
Determinazione della massa	5
Il contributo di Keplero	6
Il caso iperbolico e quello parabolico	6

32. Il problema dei due corpi

Notazioni	1
Le equazioni del moto	1
Il momento angolare	2
L'energia	3
Il moto relativo	4
Correzione alla terza legge di Keplero	5
Il centro di massa	5
L'effetto isotopico	7

33. La dinamica dei sistemi

Notazioni	1
La prima equazione cardinale	1
Il centro di massa	2
Il momento angolare e la seconda equazione cardinale	3
Il teorema delle forze vive	4
Forze conservative	5
Il riferimento del centro di massa	6
Decomposizione del momento angolare	7
La decomposizione dell'energia cinetica	8

33a. Forme differenziali

Uno sguardo indietro	1
Differenziali e costanti del moto	2
Conclusione provvisoria	3

34. Sistemi continui, misure, integrali

Dall'insieme di punti al sistema continuo	1
Definizione di misura	2
L'integrale	3
La densità di una misura	4
Integrali in \mathbf{R}^2 : il teorema di Fubini	5
Il teorema fondamentale dell'integrazione	6
Integrazione per sostituzione	7
Integrazione per sostituzione in più variabili	8
Integrazione per parti	9

35. Calcolo di baricentri e momenti d'inerzia

35a. La legge di gravitazione

Il moto della Luna	1
Il problema della sorgente estesa	2
Dimostrazione del teorema 1	3
Il campo interno: il secondo teorema di Newton	4
Limiti di validità della legge di Newton: la scoperta di Nettuno	4
Limiti di validità della legge di Newton: il problema di Mercurio	5
Al di là del sistema solare	6
La ricerca della "quinta forza"	6

36. Dinamica dei corpi rigidi

Corpi rigidi ed equazioni cardinali	1
Lavoro delle forze interne	1
Il moto nel riferimento del baricentro: il momento angolare	2
Il momento d'inerzia	3
L'energia cinetica	4
Il teorema di Huygens	5
Il lavoro delle forze esterne	6
Osservazione finale	6

37. Un lemma matematico e varie applicazioni

Il lemma	1
Applicazioni	1

38. Esempi di dinamica di corpi rigidi

Palla che rotola	1
La precessione degli equinozi	4
Il sistema Terra–Luna	5
Dati numerici	6
Effetto delle forze dissipative	7

39. Dinamica degli urti

Esempi	1
Urti elastici e anelastici	1
Uso dei principi di conservazione	2
Urti in una dimensione	3
Il riferimento del centro di massa	4
Urto anelastico	5
Urti in più dimensioni	5
Ruolo del momento angolare	7

40. Introduzione alla termodinamica

Cenno storico	1
Equilibrio termico e temperatura	1
La dilatazione termica	3
Aspetti quantitativi dell'equilibrio termico: la capacità termica	5
Il “fluido calorico”	6
Dati sui calori specifici	7
Commento finale	8

41. Statica dei fluidi

La pressione nei fluidi	1
Solidi e fluidi, liquidi e gas	2
Effetto della gravità	3
Il lavoro delle forze esterne	5
Origine della pressione	6

42. Le leggi dei gas

La compressibilità isoterma	1
La legge di dilatazione a pressione costante	2
Il numero di Avogadro e la mole	3
Che cos'è un'equazione di stato?	4
Gas reali e gas perfetti	5
Un'applicazione: l'atmosfera isoterma	5
Il termometro a gas perfetto e la temperatura assoluta	7

43. Diagrammi di stato e trasformazioni

Stati e trasformazioni	1
Trasformazioni reversibili e irreversibili	2
Trasformazioni adiabatiche	4
Il lavoro delle forze esterne	5
Scambi di calore nelle trasformazioni	6

44. La convenzione dei segni

Segno di Q e di L	1
Esempi	1
Altre convenzioni	2

45. Cambiamenti di stato: fenomenologia

Transizioni di fase a pressione costante	1
Il diagramma di fase	2
Il punto triplo e le scale di temperatura	3
Isoterme nel piano di Clapeyron	4
Fasi metastabili ed equilibri congelati	5

46. Dal calorico alla termodinamica

Il calorico “si nasconde” e non ha peso	1
Il calorico non si conserva	2
Il calore come movimento	3
L'equivalenza fra calore e lavoro	3

47. Il primo principio della termodinamica

Sistema termodinamico e stato termodinamico	1
Esempi	3
Il primo principio	3
Esempi	4
Funzioni di stato	5
L'energia interna	6
Un ultimo esempio	7

48. Applicazioni del primo principio

L'energia interna dei gas	1
I calori specifici dei gas	1
I calori specifici dei fluidi	3
Transizioni di fase	3
Adiabatiche reversibili dei gas	4
L'atmosfera adiabatica	5
Variazione della temperatura con l'altezza	6

49. Sistemi termodinamici e forme differenziali

Vettori velocità e forme differenziali	1
Integrali di forme differenziali	3
Differenziale di una funzione	3
Componenti di una forma differenziale	5
Scelta del parametro	6
Ritorno alla meccanica	7

50. Esempi di uso delle forme differenziali

Espressione del primo principio	1
Esempi	1
L'entropia di un gas perfetto	3

51. Dal secondo principio all'entropia

Equilibrio e irreversibilità	1
Enunciati del secondo principio	3
Equivalenza dei due enunciati	3
Il teorema di Clausius	4
Formulazione generale del secondo principio	6
L'entropia	7
La temperatura termodinamica e il teorema di Carnot	8
Nota storica	9

52. Bi-forme, prodotto esterno e differenziale di forme

Prodotto esterno e bi-forme	1
Differenziale di una forma	2
Cenno all'integrazione delle bi-forme	2

53. Applicazioni alla termodinamica

Espressione differenziale dei due principi	1
L'equazione di stato del gas perfetto	1
Una relazione di uso frequente	2
Calori specifici e relazioni di Maxwell	3

54. Termodinamica delle transizioni di fase

L'entalpia	1
L'energia libera	2
Grandezze intensive ed estensive	2
La curva di equilibrio	2
L'equazione di Clausius–Clapeyron	3

55. Verso la meccanica statistica

La teoria cinetica dei gas	1
Il teorema di equipartizione	3
Confronto con i dati sperimentali	4
Il “congelamento” dei gradi di libertà	5
La distribuzione delle velocità molecolari	6
La distribuzione di Boltzmann	7
Applicazione agli spettri stellari	8
Il “quantum ladder”	9

56. Il teorema di equipartizione

Relazioni fra gli impulsi	1
La condizione di equilibrio	1
Il caos molecolare: prima parte	2
Il caos molecolare: seconda parte	3

57. Il problema dell'irreversibilità

L'espansione di un gas nel vuoto	1
Un modello probabilistico	2
Realtà delle fluttuazioni	3
Fluttuazioni e tendenza all'equilibrio	5
Modello probabilistico e modello meccanico	7
Il teorema H e il paradosso della reversibilità	8
A che punto siamo?	9

58. Complementi di relatività – I

Le coordinate di un evento	1
Diagrammi spazio-tempo	2
Le trasformazioni di Lorentz	2
Invarianza delle coordinate trasversali	4
La “composizione” delle velocità	5
La contrazione delle lunghezze	6
Rappresentazione grafica delle trasformazioni di Lorentz	7

59. Complementi di relatività – II

Trasformazione dell'impulso e dell'energia	1
Conservazione dell'impulso e dell'energia	2
Il gruppo di Lorentz	3
Un'altra dimostrazione dell'inerzia dell'energia	4
Una versione corretta	6
Il centro di massa relativistico	6

Appendici 1–3